

АНАЛИЗ ЯРКОГО БОЛИДА НАД ТУРЦИЕЙ 27 МАЯ 2020 И ПОИСК ВЕЩЕСТВА

Н. А. Кругликов^{1,2,3}, А. Ю. Пастухович¹, Г. А. Яковлев¹,
В. И. Гроховский¹, О. Унсалан⁴

¹Уральский федеральный университет, ²Институт физики металлов УрО РАН,

³Уральский государственный экономический университет,

⁴Эгейский университет, Измир, Турция

Яркий болид был зарегистрирован многими камерами наружного наблюдения и любительскими средствами видеофиксации в Турции, Армении, Грузии и южных регионах России (Краснодарский, Ставропольский край). По имеющимся данным удалось восстановить атмосферную траекторию болида и провести поиск метеоритного вещества в районе вероятного выпадения. Местные особенности (развитый рельеф и значительные уклоны) не позволили осмотреть всю территорию. Тем не менее поиск продолжали в течение лета 2020 г. несколько групп, но вещество обнаружено не было.

ANALYSIS OF THE BRIGHT FIREBALL OVER TURKEY ON MAY 27, 2020 FOLLOWED BY METEORITE RECOVERY CAMPAIGN

N. A. Kruglikov^{1,2,3}, A. Yu. Pastuhovich¹, G. A. Yakovlev¹,
V. I. Grokhovsky¹, O. Unsalan⁴

¹Ural Federal University, ²Institute of Metal Physics, UB of RAS,

³Ural State University of Economics, ⁴Ege University, Izmir, Turkey

Bright fireball on May 27, 2020 was imaged in a lot of points in Turkey, Georgia and Armenia, as well as from Stavropol Region (Russia). Based on these observations we present results on luminous trajectory reconstruction which led to several meteorite expeditions in next few months.

Определение атмосферной траектории яркого болида по данным наблюдений и последующее построение доатмосферной траектории является классической задачей [1]. При этом успешный поиск вещества метеорита позволяет уточнить начальную массу тела, скорректировать модель разрушения и уточнить критерии выпадения вещества [2, 3]. В отличие от ископаемого метеоритного вещества до сих пор зарегистрировано менее четырех десятков случаев, когда по данным фото- и видеосъемки удавалось обнаружить метеоритное вещество и определить параметры доатмосферной траектории [4, 5]. За последнее десятилетие количество таких падений увеличилось вдвое. Наша группа активно и довольно успешно занимается поиском свежих падений и для этого использует данные фото- и видеофиксации [6, 7]. Найденное вещество с низкой степенью выветривания является интересным объектом для различных областей научного знания. Хорошее средство повышения точности определения параметров траектории — построение болидных сетей [8, 9]. Использование таких сетей позволяет существенно улучшить точность определения траектории, автоматизировать расчеты, но не дает возможности отказаться от использования данных случайных наблюдателей. Количество случайных наблюдателей (камер видеонаблюдения) оказывается большим в густонаселенных районах, но регистрация болида при помощи специализированной камеры повышает шансы найти вещество. Даже в таком случае определение начальной

скорости метеороида оказывается не простой задачей и при определенных углах вхождения в атмосферу может быть связано с существенными ошибками [10]. Целью настоящей работы были анализ болида наблюдавшегося 27 мая 2020 г. в 17:30 (UT) над южной частью турецкой провинции Артвин, недалеко от городка Юсуфели, и последующий поиск вещества.

Примечательной особенностью данного явления оказались отличные наблюдательные условия на значительной территории. Это позволило зарегистрировать болид из Ставрополя (расстояние около 500 км). Событие было зафиксировано стационарными камерами систем безопасности, автомобильными видеорегистраторами и камерами портативных устройств в нескольких десятках точек на территории Южного федерального округа России, Грузии, Армении и Турции. Кроме того, было много очевидцев. Сайт международной метеорной организации (ИМО) предоставлял несколько свидетельств события, которые не позволяли корректно определить параметры траектории. При этом болидной сети в Турции нет, а ближайшая камера в CAO РАН оказалась в тумане.

В связи с пандемией Covid-19 и закрытием международных границ возможности коммуникации и поездок были сильно ограничены. Центр исследований околоземных объектов (CNEOS NASA JPL) опубликовал данные о событии, когда район поиска уже был установлен по видеоданным. Сайт CNEOS предлагает следующий набор данных: координаты вспышки 40.8N, 41.7E; полная энергия излучения 57 ГДж; вычисленная полная энергия удара 0.18 кт; высота вспышки 29.3 км; скорость тела при входе в атмосферу 14.9 км/с [11]. Возможности определения координат и времени системы CNEOS ограничены и имеют точность, недостаточную для дальнейшего поиска [12].

Расчет атмосферной траектории и зоны поиска по видеоданным проводили многократно по мере поступления новых записей по методике, аналогичной описанной в [6, 13]. Значительную часть видеозаписей удалось получить посредством запросов в ведущие университеты, расположенные в той же части Турции. Для сбора информации, определения атмосферной траектории и предположительного района падения была сформирована рабочая группа из сотрудников УрФУ, Эгейского Университета (Измир, Турция), Университета им. Ата-тюрка (г. Эрзурум, Турция), Караденизского технического университета (г. Трабзон, Турция), Университета Бингель (г. Бингель, Турция), Кавказского Университета (г. Карс, Турция). Удалось получить несколько видеозаписей приемлемого качества. На некоторых из них можно было видеть изображение ярких звезд, что позволило повысить точность определения направлений до 0.045° . Это при расстоянии от камеры до объекта в 100 км дает погрешность в определении положения около 80 м. Определение точного времени события все же вызывало сложности. В то же время погода в весенний период в районе, где наблюдался болид, довольно изменчива, с большим количеством осадков, что часто приводит к наводнениям. Поэтому первая попытка поиска была предпринята турецкой группой еще до завершения предварительных расчетов и снятия ограничений, связанных с пандемией. Всего с июня по август 2020 г. турецкие коллеги предприняли четыре безуспешные попытки поиска в расчетном районе. В конечном итоге удалось определить время с точностью до 1 с и координаты вспышки за счет взаимодействия с Восточно-Анатолийской обсерваторией [14]. Для дальнейшего увеличения точности определения азимута (до 0.008° и 15 м соответственно) было решено изготовить ночные снимки при помощи чувствительной камеры высокого разрешения с двух точек недалеко от города Эрзурум во время экспедиции. Видеозапись еще с одной камеры была получена уже во время экспедиции благодаря помощи В. Богдановского. Таким образом, окончательный расчет траектории и определение района поиска были проведены уже в ходе экспедиции. Расчет поля рассеяния проводили многократно по методике, предложенной автором сервиса [15].

В период с 20.08.2020 по 02.09.2020 была организована поисковая экспедиция УрФУ. Сразу же после открытия международного авиасообщения группа сотрудников (А. Ю. Пас-



Зона поиска в районе наблюдения турецкого болида. Трапецией обозначена площадь, ограничивающая поле рассеяния, ломаная линия соответствует треку одного из участников

тухович, Н. А. Кругликов, Г. А. Яковлев) отправилась по маршруту Екатеринбург—Москва—Стамбул—Эрзурум и далее выдвинулась на арендованном автомобиле в п. Юсуфели. Поиск проводили с 22.08 по 01.09 в горах выше населенных пунктов Ишхан и Арпаджик визуально, планомерно прочесывая доступные для пешего передвижения склоны и проводя опросы местного населения. Протяженность ежедневных пеших маршрутов составила 10—15 км. Район поиска оказался на пересечении нескольких ущелий с обрывистыми склонами, имеющими большое количество вертикальных участков, протяженность которых достигает нескольких сотен метров. Таким образом, большая часть расчетной зоны вероятного выпадения метеоритного вещества была недоступна для поиска. Развитый рельеф замедляет поиск (скорость перемещения по склону с уклоном 45° не превышает 0.1 км/ч) и создает реальную угрозу безопасности участникам поиска. В то же время видимость в основном достаточная и комфортная для визуального поиска. На рисунке приведены расчетная зона предполагаемого выпадения фрагментов метеоритного вещества, а также треки одного из участников поискового отряда, наглядно демонстрирующие географию перемещений. Негативными факторами оказались значительные уклоны поверхностей ($20\text{--}40^\circ$), сложенных подвижными выветренными породами, с осыпями, значительные перепады высот (от 500 до 2000 м н.у.м.) и высокая (до 30°C) температура воздуха. Было собрано несколько образцов, резко отличавшихся по внешнему виду от местных пород. Лабораторный анализ их показал, что они не имеют отношения к болиду. Таким образом, метеоритное вещество не обнаружено, что может быть связано с особенностями района поиска и малым количеством выпавшего вещества.

Работа выполнена в рамках бюджетной темы «Давление», № АААА-А18-118020190104-3 и Акта 211 Правительства Российской Федерации, Соглашения № 02.А03.21.0006. Авторы статьи выражают глубокую признательность автору сервиса Strewnify.com Дж. А. Гудоллу (James A. Goodall) и О. Шагиру (Onur Shatir) за помощь и поддержку.

Библиографические ссылки

- [1] Бредихин Ф. А. Этюды о метеорах. — М. : Издательство Академии наук СССР, 1954.

- [2] *Sansom Eleanor K., Gritsevich Maria, Devillepoix Hadrien A. R. et al.* Determining Fireball Fates Using the α - β Criterion // *Astrophys. J.* — 2019. — Vol. 885, № 2. — P. 115.
- [3] *Moilanen Jarmo, Gritsevich Maria, Lyytinen Esko.* Determination of strewn fields for meteorite falls // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* — 2021. — stab586. <https://academic.oup.com/mnras/advance-article-pdf/doi/10.1093/mnras/stab586/36422525/stab586.pdf>.
- [4] *Colas F., Zanda B., Bouley S. et al.* FRIPON: a worldwide network to track incoming meteoroids // *A&A.* — 2020. — Vol. 644. — P. A53.
- [5] *Meier M. M. M.* Meteorite orbits.info. — <https://www.meteoriteorbits.info/> : M. M. M. Meier, 2021.
- [6] *Trigo-Rodríguez Josep M., Lyytinen Esko, Gritsevich Maria et al.* Orbit and dynamic origin of the recently recovered Annama's H5 chondrite // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* — 2015. — Vol. 449, № 2. — P. 2119–2127.
- [7] *Пастухович А. Ю., Яковлев Г. А., Петрова Е. В. и др.* Метеорит Озёрки: от падения до регистрации // *Минералы: строение, свойства, методы исследования.* — 2019. — Т. 10. — С. 185–187.
- [8] *Kruglikov N. A., Krushinsky V. V., Nazarov S. V. et al.* Towards Digital Russian Fireball Network for Meteorite Recovery // *81st Annual Meeting of the Meteoritical Society.* — 2018. — Vol. 81. — P. 6361.
- [9] *Кругликов Н. А., Рычков Д. А., Короткий С. А. и др.* Развитие техники наблюдений болидных явлений в России // *Минералы: строение, свойства, методы исследования.* — 2020. — Т. 11. — С. 145–148.
- [10] *Vida Denis, Brown Peter G., Campbell-Brown Margaret.* Modelling the measurement accuracy of pre-atmosphere velocities of meteoroids // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* — 2018. — Vol. 479, № 4. — P. 4307–4319.
- [11] *JPL.* Center for NEO Studies. — <https://cneos.jpl.nasa.gov/fireballs/> : NASA, 2020.
- [12] *Carbognani Albino.* The Great Chinese Fireball of December 22, 2020. — 2021. 2101.02457.
- [13] *Midtskogen S.* The Kola fireball: A dashcam analysis. — <http://norskmeteornettverk.no/wordpress/?p=1543> : Norsk Meteornettverk, 2014.
- [14] *Yeşilyaprak C., Keskin O.* Eastern Anatolia Observatory (DAG): the status in 2020 // *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series : Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series.* — 2020. — Vol. 11445. — P. 1144515.
- [15] *Goodall Jim.* StrewnLAB Software. — <https://www.strewnify.com/strewnlab/> : Strewnify, 2020.